

# 不同种植密度对大麦产量和青贮品质的影响

赵准<sup>1,2</sup> 李剑<sup>1,2</sup> 宋瑞娇<sup>1,2</sup> 郭岩<sup>1</sup> 令江瑞<sup>1</sup> 齐军仓<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 石河子大学农学院, 832003, 新疆石河子; <sup>2</sup> 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 832003, 新疆石河子)

**摘要** 为探究新疆北部地区不同种植密度对不同品种(系)青贮大麦的影响, 设置低(225 万株/hm<sup>2</sup>)、中(375 万株/hm<sup>2</sup>)、高(525 万株/hm<sup>2</sup>) 3 个种植密度, 研究其对 P13-3、P14-22 和垦啤麦 13 大麦品种(系)农艺性状、干物质产量、青贮原料营养成分和青贮品质的影响。结果表明: 提高种植密度会显著降低 P14-22 和 P13-3 的茎、叶比例, 增加穗比例, 但对垦啤麦 13 无显著影响。P14-22 和 P13-3 鲜草产量在中密度下最大, 大麦干物质含量随着大麦种植密度的增加而增加, 但 P14-22 和垦啤麦 13 中密度和高密度下的大麦干物质含量无显著差异。增加种植密度会提高 P14-22 和 P13-3 的酸性洗涤纤维含量, 降低 P13-3 的粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量。提高种植密度对大麦可溶性碳水化合物含量无显著影响, 不同种植密度对青贮后大麦 pH 以及乳酸、乙酸、丙酸和丁酸含量的影响无显著性差异, 但品种(系)对大麦青贮品质影响显著, 3 个品种(系)中垦啤麦 13 青贮后品质最好。综上所述, 新疆北部地区青贮用大麦在中密度条件下有着较高的产量和营养品质。

**关键词** 大麦 (*Hordeum vulgare* L.); 密度; 青贮品质; 营养价值

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



大麦是世界上重要的谷类作物之一, 因其生长期短暂、抗逆性强、用途多样而在全世界广泛种植。大麦主要分布于欧洲和亚洲, 总产量仅次于小麦、水稻和玉米而居于世界第 4 位<sup>[1]</sup>。大麦不仅是啤酒酿造的主要原料, 而且还是优质的饲用作物, 蛋白质含量较高, 粗纤维含量较低, 能作为冬季牲畜优质饲料<sup>[2]</sup>。青贮大麦是养殖奶牛的上等饲料<sup>[3]</sup>。新疆是我国五大牧区之一, 历来是我国毛、皮、奶等畜产品的重要产地<sup>[4]</sup>。近年来由于饲草需求量增加, 天然草场不能满足实际需求, 而青贮大麦作为天然牧草的一种补充, 发展青贮大麦为解决新疆牧草不足的重要途径之一。

规范化的高产栽培技术是更好推广青贮大麦产业化的前提, 合理的种植密度是影响青贮大麦高产、优质的关键技术。改变种植密度会影响单位面积内的作物数量, 调控作物对水分、矿质营养和光照的竞争程度, 从而影响作物的产量和品质<sup>[5]</sup>。在青贮玉米方面的研究表明, 密度对干物质产量和生物产量有着显著的影响<sup>[6-7]</sup>。陆海东等<sup>[8]</sup>进一步研究表明提高种植密度会提高玉米粗脂肪和粗纤维含

量, 而降低粗蛋白、粗灰分含量。目前, 我国关于大麦饲用的研究主要集中于确定大麦青贮最佳刈割时期<sup>[9-10]</sup>, 但是不同密度对大麦产量和品质的研究却鲜有报道。因此, 本研究通过比较不同种植密度对大麦产量、青贮原料和发酵品质的影响, 从而对新疆大麦青贮栽培提供技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

参试大麦品种(系)为 P14-22、P13-3 和垦啤麦 13。P14-22 和 P13-3 是新选育的高产新品系, 垦啤麦 13 号是新引进的生物产量高适宜制作青贮饲料的大麦品种。

### 1.2 试验设计

试验在石河子大学试验站(北纬 45°32'、东经 86°05')进行。当地气候属于温带大陆性气候, 年降水量 150~250mm(主要集中于 4~7 月), 蒸发量 1 500~2 400mm, 无霜期约 170d, 年日照时数约 2 860h, 年平均气温为 7.0℃。前茬作物为小黑麦。土壤类型为灌耕灰漠土, 土壤质地为壤土。试验采

作者简介: 赵准, 主要从事饲草加工与利用研究, E-mail: 1790998478@qq.com

齐军仓为通信作者, 主要从事大麦遗传育种与栽培研究, E-mail: shzqjc@qq.com

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-05-22B)和石河子大学科学技术研究发展计划“动植物育种专项计划”(gxjs2015-yz02)

收稿日期: 2019-07-01; 修回日期: 2019-08-27; 网络出版日期: 2020-01-09

用两因素随机区组设计。两因素分别为品种（系）和密度。种植密度分别为低（225 万株/hm<sup>2</sup>）、中（375 万株/hm<sup>2</sup>）、高（525 万株/hm<sup>2</sup>），供试品种（系）为 P14-22、P13-3 和垦啤麦 13。2018 年 3 月 18 日种植，每个小区 4m<sup>2</sup>，3 次重复。人工开沟条播，行距 20cm。生长期按当地大麦高产田标准进行管理。

1.3 测定方法

1.3.1 农艺指标 在蜡熟期测定株高和茎叶穗比。株高：每个小区随机抽取 10 株，量取每株主茎从地面至穗顶（包括芒）的绝对高度。茎叶穗比：将每个小区测量株高的 10 株大麦分别装入牛皮纸袋中带回实验室，75℃烘干 24h 后将茎、叶和穗分别称重，叶鞘归为叶的部分；茎比例为茎干重/茎叶穗总干重，叶比例为叶干重/茎叶穗总干重，穗比例为穗干重/茎叶穗总干重。

1.3.2 产量 蜡熟期，在每个小区随机抽取 1 个 1.0m<sup>2</sup>（1.0m×1.0m）的样方进行测产。大麦鲜草产量在田间刈割后立即称量，随后称量 250g 有代表性的大麦鲜草，将其放入牛皮纸袋中带回实验室，75℃烘干 24h 后测定饲草干物质含量。

1.3.3 干草品质分析 将烘干好的全株大麦粉碎后过 0.45mm 筛备用。采用范氏洗涤纤维分析法<sup>[11]</sup>测定中性和酸性洗涤纤维含量；采用凯氏定氮法<sup>[12]</sup>测定粗蛋白含量；采用索氏浸提法<sup>[13]</sup>测定粗脂肪含量；采用灼烧法测定粗灰分含量；采用蒽酮法<sup>[14]</sup>测定可溶性碳水化合物含量。

1.3.4 青贮及品质分析 青贮调制：将田间收割的全株大麦用剪刀剪为 2~3cm，称取 250g，根据测得干物质含量并以鲜重为基础加入蒸馏水，使大麦水分含量达到 70%，放入 20cm×25cm 的聚乙烯袋中，用真空封口机抽真空后密封避光保存。45d 后开封进行青贮品质测定。

发酵品质分析：取 20g 青贮样放入 250mL 锥形

瓶中，加入 80mL 蒸馏水，封口，置于 4℃冰箱中浸提 24h，期间适当摇晃。浸提液过滤后测定 pH、氨态氮含量以及有机酸含量（乳酸、乙酸、丙酸和丁酸）。利用 pH 计直接测定浸提液 pH；利用苯酚-次氯酸钠比色法<sup>[15]</sup>测定氨态氮含量。利用高效液相色谱仪测定有机酸含量，色谱柱为 Sunfire C18 5μm 4.6mm×150mm，流动相为 0.5mmol/L 磷酸氢二钾：甲醇=80：20，流速 1mL/min，柱温 45℃，检测波长 210nm，进样量 10μL。

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 进行数据整理，采用 SPSS 19.0 的单因素方差分析进行数据分析，利用 Duncan 法进行多重比较，显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 种植密度对大麦不同品种（系）农艺性状的影响

通过分析种植密度对不同品种（系）大麦农艺性状的影响（表 1、表 2）发现，密度、品种（系）以及密度和品种（系）的相互作用极显著影响大麦的叶比例和穗比例（ $P<0.01$ ），对株高和茎比例具有显著或极显著影响（表 1）。提高种植密度对 P14-22 和 P13-3 的株高无显著影响（ $P>0.05$ ），垦啤麦 13 的株高随种植密度提高而显著降低（ $P<0.05$ ）（表 2）。茎叶穗比例可以在一定程度上反映作物营养成分含量的高低，3 个品种（系）茎比例为 0.15~0.23，P14-22 所有处理下茎比例均高于其他 2 个品种（系）；3 个品种（系）叶比例为 0.13~0.24，P14-22 在低密度的叶比例最高；3 个品种（系）的穗比例在 0.53~0.70，垦啤麦 13 所有处理下叶比例均高于其他 2 个品系。在本试验中 P14-22 和 P13-3 茎和叶比例随种植密度提高而下降，而这 2 个品系的穗比例变化规律则与之相反。垦啤麦 13 在不同种植密度下的茎叶穗比例没有显著差异（ $P>$

表 1 不同种植密度对大麦主要农艺性状的方差分析  
Table 1 Variance analysis of main agronomic traits of barley under different planting densities

变异来源 Source	自由度 Degree of freedom	株高 Plant height	茎比例 Stem proportion	叶比例 Leaf proportion	穗比例 Ear proportion
区组 Blocks	2	0.23	0.18	5.04	2.37
品种(系)Cultivars (Lines)	2	4.84**	18.79**	33.03**	45.30**
密度 Densities	2	402.43**	6.18**	14.01**	24.42**
密度×品种(系) Density×Cultivar (Line)	4	2.69*	3.59*	12.37**	16.62**

注：“\*”、“\*\*” 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同  
Note: “\*” and “\*\*” indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below

表 2 不同种植密度对大麦主要农艺性状的影响  
Table 2 Effects of different planting densities on main agricultural traits of barley

品种 (系) Cultivar (Line)	种植密度 Planting density	株高 (cm) Plant height	茎比例 (g/g) Stem proportion	叶比例 (g/g) Leaf proportion	穗比例 (g/g) Ear proportion
P14-22	低 Low	85.38 ± 1.26c	0.23 ± 0.02a	0.24 ± 0.01a	0.53 ± 0.03e
	中 Medium	88.44 ± 1.96c	0.20 ± 0.01b	0.15 ± 0.01bc	0.65 ± 0.01cd
	高 High	87.20 ± 2.02c	0.18 ± 0.01bc	0.15 ± 0.02bc	0.66 ± 0.01bcd
垦啤麦 13 Kenpimai13	低 Low	108.24 ± 2.47a	0.17 ± 0.00cd	0.13 ± 0.01c	0.70 ± 0.01a
	中 Medium	109.46 ± 3.05a	0.18 ± 0.00bc	0.14 ± 0.01c	0.68 ± 0.01abc
	高 High	104.08 ± 1.24b	0.17 ± 0.01cd	0.13 ± 0.02c	0.70 ± 0.01a
P13-3	低 Low	86.04 ± 3.20c	0.18 ± 0.03bc	0.18 ± 0.01b	0.62 ± 0.02d
	中 Medium	87.18 ± 1.89c	0.15 ± 0.01d	0.16 ± 0.02bc	0.65 ± 0.02cd
	高 High	86.24 ± 2.62c	0.15 ± 0.01d	0.15 ± 0.03bc	0.67 ± 0.03bcd

注: 同列中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同  
Note: Different small letters in the same indicate mean significant different at the 0.05 level. The same below

0.05)。这说明了垦啤麦 13 在 225 万~525 万株/hm<sup>2</sup> 的种植密度下茎叶穗比例反应不敏感。

2.2 不同种植密度对大麦不同品种 (系) 产量、干物质含量和可溶性碳水化合物含量的影响

由表 3 和表 4 可知, 大麦品种 (系) 和种植密度对大麦鲜草、干草产量及干物质含量具有极显著的影响 ( $P<0.01$ ), 种植密度和品种 (系) 的相互作用对鲜草产量具有极显著影响 ( $P<0.01$ ), 对干草产量和干物质含量具有显著影响 ( $P<0.05$ ) (表 3)。密度和品种 (系) 的相互作用以及种植密度对大麦可溶性碳水化合物无显著影响 ( $P>0.05$ ), 但

品种 (系) 对其有极显著的影响 ( $P<0.01$ )。P14-22 和 P13-3 鲜草产量随着种植密度的增加表现为先上升后下降的趋势 (表 4), 中密度下鲜草产量显著高于其他种植密度 ( $P<0.05$ ), 中密度下大麦鲜草产量较低密度增产 11.47%~21.44%, 高密度较中密度减产 11.00%~11.47%, 对于这 2 个品系, 提高播种密度不仅浪费种子, 而且还会使鲜草产量降低, 但不同品种 (系) 降低幅度仍有差异, P13-3 产量降低最多, 而垦啤麦 13 鲜草产量在高种植密度下最高, 但与中密度鲜草产量无显著差异; 3 个大麦品种 (系) 在相同的种植密度下, 均为 P14-

表 3 不同种植密度对大麦鲜草、干草产量及可溶性碳水化合物的方差分析  
Table 3 Variance analysis of fresh grass and hay grass yield and water soluble carbohydrate of barley under different planting densities

变异来源 Source	自由度 Degree of freedom	鲜草产量 Fresh grass yield	干草产量 Hay grass yield	干物质含量 Dry matter content	可溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrate
区组 Blocks	2	1.47	0.38	28.03	0.43
品种 (系) Cultivars (Lines)	2	62.97**	9.07**	30.82**	7.24**
密度 Densities	2	37.27**	24.20**	18.37**	0.83
密度 × 品种 (系) Density × Cultivar (Line)	4	4.82**	1.53*	2.71*	0.19

表 4 不同种植密度对大麦全株产量、干物质含量以及可溶性碳水化合物含量的影响  
Table 4 Effects of different planting densities on fresh grass, hay grass yield and water soluble carbohydrate of barley

品种 (系) Cultivar (Line)	种植密度 Planting density	鲜草产量 (t/hm <sup>2</sup> ) Fresh grass yield	干草产量 (t/hm <sup>2</sup> ) Hay grass yield	干物质含量 (%) Dry matter content	可溶性碳水化合物 (%) Water soluble carbohydrate
P14-22	低 Low	28.17 ± 0.44cd	14.30 ± 0.66c	51.23 ± 2.21c	2.82 ± 0.23b
	中 Medium	33.61 ± 0.51a	17.74 ± 0.77a	52.14 ± 1.27c	2.43 ± 0.54b
	高 High	30.28 ± 1.75bc	16.14 ± 1.30ab	53.32 ± 0.87c	2.54 ± 0.43b
垦啤麦 13 Kenpimai 13	低 Low	24.72 ± 1.13ef	12.61 ± 0.39cd	50.86 ± 2.43c	4.52 ± 0.52a
	中 Medium	30.02 ± 1.80b	17.11 ± 1.29ab	56.82 ± 0.77b	4.21 ± 0.34a
	高 High	30.22 ± 1.39bc	17.16 ± 1.16a	57.29 ± 0.28b	4.22 ± 0.63a
P13-3	低 Low	23.72 ± 1.36f	12.25 ± 0.99d	52.39 ± 2.23c	2.22 ± 0.43b
	中 Medium	26.44 ± 0.95de	14.85 ± 0.88bc	56.82 ± 1.86b	1.73 ± 0.37b
	高 High	23.72 ± 0.25f	15.38 ± 0.80bc	65.34 ± 3.17a	1.93 ± 0.48b



22 鲜草产量最高，低、中、高密度下较其他品种（系）分别增产 13.93%~18.76%、11.96%~27.12%、0.20%~27.66%。与鲜草产量有所不同，提高种植密度会增加 3 个大麦品种（系）的干草产量，但中密度和高密度无显著差异；所有处理中，P14-22 干草产量最高，为 17.74t/hm<sup>2</sup>，相同种植密度下较垦啤麦 13 和 P13-3 分别高出 3.68% 和 19.46%。改变种植密度对可溶性碳水化合物含量无显著影响，3 个品种（系）不同处理下，垦啤麦 13 可溶性碳水化合物含量均显著高于其他 2 个品系。通过以上分析说明，在新疆地区种植 P14-22 可以获得较高产量，而垦啤麦 13 则较适合密植。

2.3 不同种植密度对大麦不同品种（系）青贮原料品质的影响

通过分析不同种植密度对大麦青贮原料品质的影响（表 5、表 6）发现，大麦品种（系）对粗蛋白、粗灰分含量具有极显著的影响（ $P<0.01$ ），对粗脂肪含量具有显著性影响（ $P<0.05$ ）。品种（系）和密度的互作效应对粗蛋白含量具有极显著的影响（ $P<0.01$ ），对酸性洗涤纤维和粗脂肪含量具有显著性影响（ $P<0.05$ ）。种植密度对中性洗涤纤维含量

具有显著性影响，对酸性洗涤纤维、粗蛋白和粗灰分含量具有极显著影响。P14-22 中性洗涤纤维含量随种植密度增加先提高后降低，P13-3 各密度间无显著差异，P14-22 低密度下的中性洗涤纤维含量显著低于中密度（ $P<0.05$ ）；不同处理下，中密度 P14-22 的中性洗涤纤维含量最高，为 65.66%。大麦酸性洗涤纤维对种植密度的响应因品种（系）差异而不同，P14-22 的酸性洗涤纤维含量随种植密度的增加而先降低后提高，垦啤麦 13 和 P13-3 的酸性洗涤纤维含量因种植密度的增加而上升，垦啤麦 13 和 P13-3 高密度下的酸性洗涤纤维含量较低密度分别增加 28.59% 和 23.20%。不同品种（系）粗蛋白含量对种植密度的响应不一致，P13-3 粗蛋白含量随着种植密度的提高而显著降低，P14-22 各处理粗蛋白含量无显著差异；不同处理下均为垦啤麦 13 粗蛋白含量最低，P13-3 粗蛋白含量最高，P13-3 较其他品种（系）在低、中、高密度下分别高 43.63%~62.20%、22.61%~41.78%、5.47%~20.20%。P14-22 各处理下粗脂肪含量无显著差异，垦啤麦 13 和 P13-3 粗脂肪含量随种植密度增加先升高后降低，P13-3 高密度下粗脂肪含量显著低于中密度

表 5 不同种植密度对大麦青贮原料品质的方差分析  
Table 5 Variance analysis of silage material quality of barley under different planting densities

变异来源 Source	自由度 Degree of freedom	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
区组 Blocks	2	0.28	0.17	1.02	0.18	6.77
品种(系) Cultivars (Lines)	2	1.64	4.38	134.86**	4.56*	18.46**
密度 Densities	2	8.99*	32.63**	24.50**	1.50	11.27**
密度×品种(系) Density×Cultivar (Line)	4	2.41	8.69*	20.01**	4.01*	1.59

表 6 不同种植密度对大麦青贮原料品质的影响  
Table 6 Effects of different planting densities on the quality of barley silage material %

品种(系) Cultivar (Line)	种植密度 Planting density	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗灰分 Crude ash
P14-22	低 Low	56.58 ± 2.62c	24.16 ± 1.12cd	4.63 ± 0.12cd	1.88 ± 0.33a	6.29 ± 0.09ab
	中 Medium	65.66 ± 3.50a	18.98 ± 1.51e	4.29 ± 0.24de	1.83 ± 0.37a	5.74 ± 0.28bc
	高 High	62.78 ± 0.85ab	32.76 ± 1.94a	4.57 ± 0.19cd	1.53 ± 0.09ab	5.87 ± 0.08c
垦啤麦 13 Kenpimai13	低 Low	59.89 ± 0.18bc	22.56 ± 1.66cd	4.10 ± 0.28e	1.60 ± 0.21ab	5.47 ± 0.28cd
	中 Medium	63.03 ± 1.24ab	27.72 ± 2.33b	3.71 ± 0.20f	1.79 ± 0.12a	5.47 ± 0.70cd
	高 High	57.35 ± 3.55c	29.01 ± 1.98b	4.01 ± 0.16ef	1.13 ± 0.36bc	5.09 ± 0.30d
P13-3	低 Low	60.44 ± 4.03bc	21.08 ± 0.15de	6.65 ± 0.28a	1.44 ± 0.15ab	6.38 ± 0.12a
	中 Medium	64.04 ± 2.82ab	23.95 ± 3.00cd	5.26 ± 0.19b	1.60 ± 0.28ab	5.72 ± 0.27bc
	高 High	62.43 ± 0.99ab	25.97 ± 1.99bc	4.82 ± 0.23c	1.04 ± 0.25c	5.68 ± 0.21c

粗脂肪含量（ $P<0.05$ ）。P13-3 粗灰分含量随着种植密度的增加而显著降低（ $P<0.05$ ），垦啤麦 13 各处理下粗灰分含量无显著差异（ $P>0.05$ ）。

2.4 不同种植密度对大麦不同品种（系）青贮品质的影响

通过分析不同种植密度对大麦青贮品质的影响

(表 7、表 8) 发现, 大麦品种 (系) 对青贮大麦的 pH、氨态氮、乳酸和乙酸含量有显著差异 ( $P<0.05$ ), 对丙酸含量有着极显著的差异 ( $P<0.01$ )。种植密度对青贮大麦的氨态氮含量有显著影响 ( $P<0.05$ ), 但对于 pH、乳酸、乙酸、丙酸和丁酸含量均无显著影响 ( $P>0.05$ )。密度和品种 (系) 之间交互作用对大麦青贮品质无显著影响 ( $P>0.05$ )。3 个青贮大麦品种 (系) 的 pH 在 3.99~4.77, 其中

P14-22 在低密度下的 pH 最小, 为 3.99, 不同处理对大麦 pH 无显著影响 ( $P>0.05$ )。不同品种 (系) 的氨态氮含量在 2.18%~3.57%, 除垦啤麦 13 在中密度下氨态氮含量显著低于其他密度外 ( $P<0.05$ ), 其他品种 (系) 不同处理下无显著差异 ( $P>0.05$ )。3 个青贮大麦品种 (系) 乳酸、乙酸和丙酸含量分别在 3.99%~4.77%、0.27%~0.53%、0.09%~0.28%。不同处理青贮大麦均无丁酸产生。

表 7 不同种植密度对大麦青贮品质的方差分析  
Table 7 Variance analysis of silage quality of barley under different planting densities

变异来源 Source	自由度 Degree of freedom	pH	氨态氮 NH <sub>3</sub> -N	乳酸 Lactic acid	乙酸 Acetic acid	丙酸 Propionic acid	丁酸 Butyric acid
区组 Blocks	2	0.77	0.22	0.77	1.13	0.05	0.00
品种 (系) Cultivars (Lines)	2	7.50*	6.79*	7.50*	5.16*	7.96**	0.00
密度 Densities	2	1.43	4.09*	1.43	1.42	1.23	0.00
密度 × 品种 (系) Density × Cultivar (Line)	4	1.99	1.39	1.99	1.69	0.19	0.00

表 8 不同种植密度对大麦青贮品质的影响  
Table 8 Effects of different planting densities on barley silage quality

品种 (系) Cultivar (Line)	种植密度 Planting density	pH	氨态氮 (%) NH <sub>3</sub> -N	乳酸 (%) Lactic acid	乙酸 (%) Acetic acid	丙酸 (%) Propionic acid	丁酸 (%) Butyric acid
P14-22	低 Low	3.99 ± 0.11c	3.57 ± 0.36a	3.99 ± 0.11c	0.43 ± 0.10ab	0.14 ± 0.05c	0
	中 Medium	4.34 ± 0.33abc	2.43 ± 0.09ab	4.34 ± 0.33abc	0.49 ± 0.03a	0.09 ± 0.07c	0
	高 High	4.31 ± 0.06bc	3.49 ± 0.13a	4.31 ± 0.06bc	0.49 ± 0.05a	0.11 ± 0.02c	0
	低 Low	4.56 ± 0.07ab	2.38 ± 0.48ab	4.56 ± 0.07ab	0.53 ± 0.06a	0.13 ± 0.03c	0
	中 Medium	4.57 ± 0.20ab	2.18 ± 0.02c	4.57 ± 0.20ab	0.48 ± 0.07a	0.09 ± 0.10c	0
	高 High	4.77 ± 0.07a	2.31 ± 0.57ab	4.77 ± 0.07a	0.51 ± 0.05a	0.12 ± 0.04c	0
P13-3	低 Low	4.47 ± 0.25ab	3.14 ± 0.39ab	4.47 ± 0.25ab	0.27 ± 0.24b	0.28 ± 0.11a	0
	中 Medium	4.66 ± 0.18ab	2.46 ± 1.00ab	4.66 ± 0.18ab	0.50 ± 0.17a	0.21 ± 0.09ab	0
	高 High	4.24 ± 0.44bc	2.42 ± 0.47ab	4.24 ± 0.44bc	0.27 ± 0.07b	0.20 ± 0.03ab	0

3 讨论

3.1 不同种植密度对大麦产量和茎叶穗比例的影响

大量研究表明, 种植密度对饲料作物的产量有着重要的影响, 但这种影响受到地理位置、栽培品种以及生态条件的综合作用<sup>[16-17]</sup>。本研究表明, 随着大麦种植密度的增加, P14-22 和 P13-3 的鲜草产量先增加后降低, 这与甘辉林等<sup>[18]</sup>在青贮玉米的研究结果相一致, 而与王晓娟等<sup>[17]</sup>在青贮玉米上的研究结果不同 (鲜草产量随着种植密度的增加而增加)。这种结果可能与 2 种作物的耐密性不同有关, 大麦的分蘖能力较强, 在较低的种植密度下会产生大量分蘖, 能有效地利用光、温、水等资源, 而在较高的栽培密度下, 大麦的分蘖产生较少, 并且由于种植密度过高而导致单株竞争加剧, 生物产量下降。与鲜草产量不同, 本试验表明大麦干草产

量随种植密度的增加而显著增加, 这可能是由于在相同的灌水条件下, 过高的种植密度导致大麦单株获得水分较少并使干物质含量增加造成的, 所有处理中, P14-22 中密度干草产量最高, 为 17.74t/hm<sup>2</sup>。茎叶穗所占总干物质比例对反映饲草可消化性物质的含量具有一定参考意义<sup>[19]</sup>。本研究表明 P13-3 和 P14-22 的茎、叶比例随种植密度的增加而降低, 穗比例与之相反, 而垦啤麦 13 的茎叶穗比例并未受到显著影响, 说明提高种植密度对 P13-3 和 P14-22 植株构成影响较大, 而对垦啤麦 13 影响较小。

3.2 不同种植密度和品种 (系) 对青贮大麦原料品质的影响

青贮大麦原料的品质与中性和酸性洗涤纤维含量呈负相关关系, 而与粗蛋白、粗脂肪以及粗灰分含量呈正相关关系<sup>[10]</sup>。冯鹏等<sup>[20]</sup>在研究不同种植密度对青贮玉米的品质时发现, 随着种植密度的提

高, 玉米中的中性和酸性洗涤纤维含量随之提高, 粗蛋白含量随之降低。陆海东等<sup>[8]</sup>发现随着密度的提高, 玉米粗纤维含量增加, 粗蛋白和粗脂肪含量也增加。本研究表明, 随着种植密度的提高, P14-22 中性洗涤纤维含量随种植密度增加先提高后降低, P13-3 无显著差异, 垦啤麦 13 和 P13-3 的酸性洗涤纤维含量显著增高; 不同品种(系)蛋白质含量对种植密度的响应不同, P14-22 各处理粗蛋白含量无显著差异, P13-3 粗蛋白含量随种植密度的增加而显著降低; 垦啤麦 13 和 P13-3 粗脂肪含量随种植密度增加先增加后降低, P13-3 粗灰分含量随种植密度增加而显著降低。本研究结果与冯鹏等<sup>[20]</sup>研究结果部分相似, 这可能由于本研究所设品种(系)较多有关(相对于冯鹏的 1 个品种), 与陆海东等<sup>[8]</sup>的结果有所不同, 这种差异可能和试验区域气候特点以及密度设置不同有关。本研究认为在较低密度条件下, 大麦青贮原料的品质较好, 可能由于在较低的密度下, 大麦单株所获得的水、肥、光照较多, 通风条件好, 光合作用能力较强。

### 3.3 不同种植密度和品种(系)对青贮大麦品质的影响

常规青贮需要原材料含水量为 63%~75%, 但由于新疆地区 6 月份气温较高, 且干热风严重, 本研究的 3 个大麦品种(系)蜡熟期含水量普遍为 43%~49%, 个别含水量甚至只有 35%, 不利于青贮发酵。因此, 本试验在青贮之前对大麦进行青贮调制, 使大麦含水量达到 70% 左右, 以满足青贮所需要的水分条件。青贮原料除了要满足水分要求外, 还需要含有一定水平的可溶性碳水化合物, Seale 等<sup>[21]</sup>研究表明, 青贮原料中可溶性碳水化合物水平的高低是影响青贮能否成功的关键性因素, 碳水化合物含量高的原料可以加速乳酸菌的繁殖, 使 pH 迅速降低, 从而抑制杂菌的生长。秦梦臻等<sup>[22]</sup>也发现青贮原料中的碳水化合物水平与青贮发酵品质呈现显著的正相关关系。本研究中各大麦品种(系)的可溶性碳水化合物含量在 1.73%~4.52%, 提高种植密度虽然会使大麦的碳水化合物含量有所下降, 但不同种植密度间并没有显著差异, 而不同品种(系)间的碳水化合物含量存在着极显著的差异。方差分析表明, 种植密度虽然会对氨态氮含量有显著影响, 但对其他的青贮品质指标均无显著影响, 而品种(系)对不同青贮品质指标(pH、氨态

氮、乳酸、乙酸和丙酸)均有显著影响, 故本研究认为大麦青贮原料中的可溶性碳水化合物含量与青贮发酵品质之间存在联系。田静等<sup>[10]</sup>研究表明随着生育期的延长, 大麦干物质含量显著提高, 蜡熟期大麦含水量为 70%, 适宜青贮; 秦梦臻等<sup>[22]</sup>在小麦中也发现了这种现象。本研究表明, 新疆地区大麦蜡熟期的水分含量普遍为 43%~49%, 并不能满足青贮需求, 需要提前进行刈割或者对大麦进行青贮调制后才能进行青贮。

## 4 结论

本研究结果认为, 大麦干草产量(除 P14-22)和干物质含量均随着种植密度的增加而增加。不同品种(系)的农艺性状对种植密度的响应不同, 提高种植密度可以提高 P13-3 和 P14-22 的穗比例, 降低茎和叶比例, 但对垦啤麦 13 则无显著影响。随着种植密度的提高, P14-22 中性洗涤纤维含量随种植密度增加先提高后降低, P13-3 无显著变化, 垦啤麦 13 和 P13-3 的酸性洗涤纤维含量显著性增加, 不同品种(系)蛋白质含量对种植密度的响应不同, P14-22 各处理粗蛋白含量无显著差异, P13-3 的粗蛋白含量随种植密度的升高而显著降低; 垦啤麦 13 和 P13-3 粗脂肪含量随种植密度升高先增加后下降, P13-3 粗灰分含量随种植密度增加而显著降低。增加种植密度不会对大麦可溶性碳水化合物含量造成影响, 但不同大麦品种(系)间的可溶性碳水化合物含量有着极显著的差异。品种(系)对大麦的青贮品质有着显著的影响, 但种植密度对青贮大麦的乳酸、乙酸、丙酸和丁酸含量没有显著影响。本研究认为在较低的种植密度下, 大麦青贮原料品质较好, 但干草、鲜草产量较低, 综合大麦产量和品质两方面因素, 新疆北部地区青贮大麦采用 375 万株/hm<sup>2</sup>(中密度)的种植密度较为适宜, 营养品质和产量较高。

### 参考文献

- [1]陈明贤, 张国平. 全球大麦发展现状与中国大麦产业发展分析. 大麦与谷类科学, 2010, 10(4): 1-4.
- [2]卢良恕. 中国大麦学. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [3]张融, 李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 27-31.
- [4]张彦虎. 新疆草地农业发展模式研究. 石河子: 石河子大学, 2015.
- [5]林志玲, 朱铁霞, 李天琦, 等. 种植密度对科尔沁沙地饲用燕麦产量和品质的影响. 草业学报, 2019, 27(3): 760-765.
- [6]乔雪峰, 孙启忠, 柳茜, 等. 种植密度对青贮玉米产量和青贮品质的影响. 草学, 2018(4): 59-63.



- [7]胡文河,宋红凯,吴春胜,等. 密度对青贮玉米产量和品质的影响. 玉米科学,2008,16(6):100-102.
- [8]路海东,薛吉全,郝引川,等. 密度对不同类型青贮玉米饲用产量及营养价值的影响. 草地学报,2014,22(4):865-870.
- [9]邢虎成,谭松林,张英,等. 刈割时期和留茬高度对大麦鲜草产量及饲用品质的影响. 中国农学通报,2018,34(31):1-4.
- [10]田静,谢昭良,刘家杏,等. 冬闲田种植大麦不同生育期的营养价值和青贮品质. 草业科学,2017,34(4):753-760.
- [11]Van Soest P J,Robertson J B,Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583-3597.
- [12]Snell F D,Biffen F M. Official methods of analysis. Arlington: Chemical Publishing Company,1990.
- [13]Filya I,Ashbell G,Hen Y,et al. The effect of bacterial inoculants on the fermentation and aerobic stability of whole crop wheat silage. Animal Feed Science and Technology,2000,88(1/2):39-46.
- [14]Dubois M,Gilles K A,Hamilton J K,et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry,1956,28(3):350-353.
- [15]李蕾蕾,花登峰,郑兴卫,等. 含水量和混播比例对青南牧区燕麦-箭筈豌豆/毛苕子混播青贮品质的影响. 草业学报,2018,27(7):166-174.
- [16]于德花,陈小芳,毕云霞,等. 种植密度对不同株型青贮玉米产量及相关性状的影响. 草业科学,2018,35(6):1465-1471.
- [17]王晓娟,何海军,寇思荣,等. 种植密度对不同品种青贮玉米生物产量和品质的影响. 草业科学,2019,36(1):169-177.
- [18]甘辉林,权金鹏,马亚杰,等. 不同优质高产青贮玉米新品种生产性能及营养价值评价. 畜牧兽医杂志,2017,36(5):11-15.
- [19]Hilla J,Leaver J D. Effect of stage of growth at harvest and level of urea application on chemical changes during storage of whole-crop wheat. Animal Feed Science and Technology,1999,77(3):281-301.
- [20]冯鹏,温定英,孙启忠. 种植密度对玉米产量及青贮品质的影响. 草业科学,2011,28(12):2203-2208.
- [21]Seale D R,Henderson A R,Pettersson K O,et al. The effect of addition of sugar and inoculation with two commercial inoculants on the fermentation of lucerne silage in laboratory silos. Grass and Forage Science,1986,41(1):61-70.
- [22]秦梦臻,沈益新. 生育期对小麦全株青贮发酵品质的影响. 中国农业科学,2012,45(8):1661-1666.

## Effects of Different Planting Densities on Biomass Yield and Silage Quality of Barley

Zhao Zhun<sup>1,2</sup>, Li Jian<sup>1,2</sup>, Song Ruijiao<sup>1,2</sup>, Guo Yan<sup>1</sup>, Ling Jiangrui<sup>1</sup>, Qi Juncang<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China; <sup>2</sup>The Key Laboratory of Oasis Eco-Agriculture of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

**Abstract** In order to determine the effects of planting densities on different barley cultivars (lines) in northern Xinjiang, three planting densities ( $2.25 \times 10^4$ ,  $3.75 \times 10^4$  and  $5.25 \times 10^4$  plant/ha) were set in this experiment. We studied the changes of multiple indexes of three barley cultivars (lines) (P13-3, P14-22 and Kenpimai 13) under the above planting densities, including agronomic traits, dry matter, nutritional composition of silage raw materials and silage quality. The results showed that increasing sowing density could significantly reduce the proportion of stems to leaves and increase the proportion of panicles of P14-22 and P13-3, but it had no significant effect on Kenpimai 13. The maximum fresh weight was achieved under medium density and maximum dry matter content was increased significantly in medium and high planting densities. In this experiment, increasing planting density could increase the contents of neutral and acid detergent fiber, decrease the contents of crude protein, crude fat and crude ash of P13-3. The increase in planting density had no significant effect on the content of soluble carbohydrate. There was no significant difference in pH and contents of lactic acid, acetic acid, propionic acid and butyric acid under different planting densities. In three barley cultivars (lines), Kenpimai 13 was the best one on quality after silage. To sum up, silage barley in northern Xinjiang has high yield and nutritional quality under the condition of medium density.

**Key words** Barley (*Hordeum vulgare* L.); Density; Silage quality; Nutritional value